

논문 2008-451E-2-6

판별분석을 이용한 효율적인 3차원 모델 검색

(Efficient 3D Model Retrieval using Discriminant Analysis)

송주환*, 최성희**, 권오봉***

(Ju-Whan Song, Seong-Hee Choi, and Ou-Bong Gwun)

요약

본 논문은 통계 기법인 판별 분석 함수를 이용하여 효율적으로 3차원 모델을 검색하는 시스템을 구현하였다. 제안한 방법은 판별분석 함수를 이용하여 색인으로 검색 하는 기법으로, 색인의 생성은 Osada의 D2방법에 의해 추출된 128개의 특징벡터에 통계치(범위, 최소값, 평균, 표준편차, 왜도, 척도)를 변수로 판별분석 함수의 값을 색인 값으로 생성하였다. 쿼리 모델 검색 시 1차 검색으로 쿼리와 저장된 클래스(동종의 모델 그룹)의 색인을 비교하여 상위 2%이내(98% 이상)의 클래스를 추출하여 추출된 클래스에 속하는 모델만을 검색하였다. 이 방법은 검색시간을 단축시키는 효율적인 검색 기법임을 구현을 통해 알 수 있었다. 제안한 방법은 기존의 방법(Osada)보다 3차원 모델 검색 시간을 57%로 단축시켰으며, 쿼리 모델 검색 시 유사모델이 최초로 발견되는 정확도(precision)가 0.362로 기존의 방법보다 44.8%의 효율이 있었음을 알 수 있었다.

Abstract

This study established the efficient system that retrieves the 3D model by using a statistical technique called the function of discriminant analysis. This method was suggested to search index, which was formed by the statistics of 128 feature vectors including those scope, minimum value, average, standard deviation, skewness and scale. All of these were sampled with Osada's D2 method and the statistics as a factor effecting a change turned the value of discriminant analytic function into that of index. Through the primary retrieval on the model of query, the class above the top 2% was drawn out by comparing the query with the index of previously saved class from the group of same models. This method was proved an efficient retrieval technique that saved its procedural time. It shortened the retrieval time for 3D model by 57% faster than the existing Osada's method, and the precision that similar models were found in the first place was recorded 0.362, which revealed it more efficient by 44.8%.

Keywords : 3차원 모델 검색, 특징벡터 추출, 판별분석함수, 색인

I. 서론

멀티미디어와 통신 기술의 발달에 따라 3차원 모델은 여러 분야에서 쉽게 접할 수 있게 되었다. 가상세계, 게임, 그래픽에서의 모델링 기법, 영상, 의료등 3차원 모델에 관한 관심이 늘어나면서 기술적으로 커다란 발

전을 가져왔다. 이에 3차원 모델에 대한 데이터의 효율적인 관리 및 검색의 요구에 따라 다양한 기법의 연구가 진행되고 있다. 특히 검색 연구는 활발히 진행되고 있다. 3차원 모델 검색에는 텍스트 기반 검색과 내용기반 검색 방법이 있다^[1~3].

텍스트 기반(text-based) 검색은 텍스트 기반 알고리즘에 의해 주석을 사용하여 3차원 모델을 색인하고, 키워드를 이용하여 검색하는 방법이다. 단점은 모든 사용자가 하나의 3차원 모델을 동일하게 인지할 수 있는 주석으로 표현하기 힘들고, 또한 주석을 표현하기 위한 시간적 비용이 많이 드는 문제점이 있다.

내용기반(content-based) 검색은 3차원 모델을 대표하는 특징 값을 추출하여 이를 기반으로 색인과 검색을

* 정회원, 전주대학교 교양학부
(School of Liberal Arts, Jeonju University)
** 정회원, 전주비전대학 유아교육과
(Department of Early Childhood Education, Vision College of Jeonju)
*** 정회원, 전북대학교 전자정보공학부
(Division of Electronics & Information Engineering, Chonbuk National University)
접수일자: 2008년3월4일, 수정완료일: 2008년6월11일

수행한다. 일반적으로 3차원 모델들은 형태를 통한 검색 및 객체 인식이 이루어지고 있으며, 검색 연구로는 그래프 기반 검색(graph-based retrieval)^[4], 시점 기반 검색(view-based retrieval)^[5], 특징 기반 검색(feature-based retrieval)^[6~7]이 있다.

그래프 기반 검색은 다른 모델과 비교해서 분별력은 크지만 정규화 된 척도가 없고 연산 시 많은 시간이 소요되는 단점이 있다.

시점 기반 검색은 3차원 모델을 2차원 영상으로 변환해서 특징을 추출하기 때문에 기존의 2차원 영상 검색 방법을 손쉽게 적용할 수 있지만 모델에 따른 비교해야 할 시점을 찾는 데 많은 시간이 소요된다.

그리고 특징기반검색은 3차원 모델에서 특징 기술자(descriptor)를 추출하기 때문에 연산 시 위 두 방법보다 시간이 적게 소요된다. 그러므로 3차원 모델의 형태를 가장 잘 표현 할 수 있는 기술자를 추출하여 색인 및 검색할 수 있는 방법을 찾아내기 위해서 많은 연구들이 진행해 왔다. 기존의 연구를 보면 Osada가 제안한 방법인 3차원 모델의 확률적인 분포 특징을 이용한 형태 분포(shape distributions)는 3차원 형태를 이루고 있는 메쉬 상에 있는 임의의 두 점을 선택한 후 두 점 사이의 유클리언 거리 측정을 통한 1차원 히스토그램을 구성함으로써 3차원 모델을 검색하는 방법이다. 이 방법은 특징 값 추출 및 계산이 쉽고 3차원 객체의 전체적인 형태의 특징을 잘 표현하며, 작은 왜곡에 강한 특징이 있다^[8~9].

본 논문에서 제안한 검색 기법은 통계처리 기법인 판별분석 함수 값에 의한 검색으로 Osada의 검색 알고리즘을 기반으로 검색의 정확도를 높이면서도 검색 시간을 단축시키는 3차원 모델 검색 기법을 제안하였으며, 논문의 구성은 II. 3차원 모델 검색, III. 구현 및 평가, IV. 결론으로 기술하였다.

II. 3차원 모델 검색

<그림 1>은 3차원 모델 검색 흐름도로서 크게 두 부분으로 구성하였다. 첫째, 전 처리과정으로 콘스탄츠 대학의 벤치마크 데이터^[10]를 활용하여 3차원 모델의 특징 벡터와 색인을 추출·데이터베이스에 저장하는 과정이고, 둘째, 검색과정으로 3차원 쿼리 모델 검색 시 쿼리 모델의 특징벡터, 색인을 추출하여 데이터베이스에 저장된 모델들과 비교하여 유사한 모델을 검색하는 과정을 흐름도로 기술하였다.

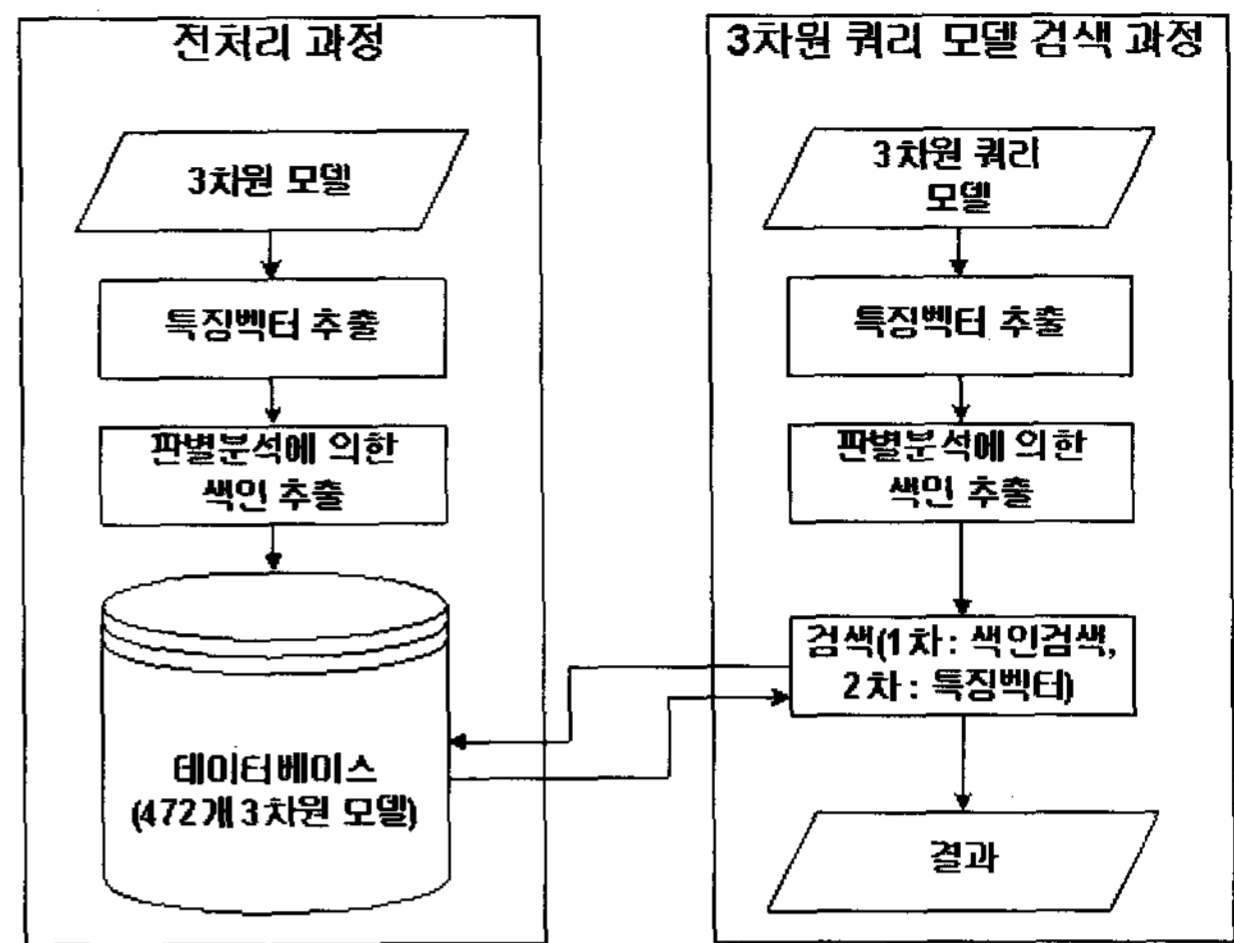


그림 1. 3차원 모델 검색 흐름도
Fig. 1. Pipeline of 3D model retrieval.

1. 전 처리(Preprocess) 과정

쿼리 모델을 검색하기 전 처리 과정으로 콘스탄츠 대학의 벤치마크 데이터를 활용하여 특징벡터와 색인을 추출하여 데이터베이스에 저장하는 과정이다.

(1) 특징벡터 추출

3차원 모델을 검색하기 위한 특징 벡터 추출은 다양한 방법으로 연구되었으나 본 논문에서는 Osada등이 발표한 D2, D3, A3방법에서 D2 방법을 이용하여 128개의 값을 갖는 특징벡터를 추출·사용 하였다.

<그림 2>는 D2, D3, A3을 기반으로 한 형태 분포로 다음과 같다^[11].

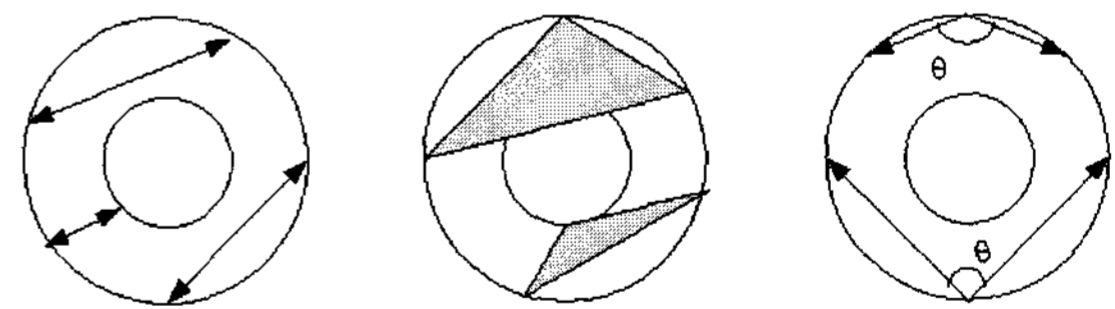


그림 2. D2, D3, A3 형태분포^[11]
Fig. 2. Shape distributions of D2, D3, A3.

(2) 색인 추출

본 논문에서 제안한 부분으로 검색 시간을 단축시키기 위한 과정이다. 색인 추출은 특징벡터 128개를 통계 기법인 판별분석 함수 값을 색인 값으로 하였다. 판별 분석 함수(범위, 최소값, 평균, 표준편차, 왜도, 척도를 변수로 사용)란 2개 또는 그 이상의 집단에서 사용되며 각 집단 내의 분산의 차이에 비해 집단 간의 분산의 차이를 최대화 할 수 있는 독립변수들의 계수를 찾아 독립변수들의 선형결합으로 이루어진 함수를 의미한다^[12].

본 논문에서는 콘스탄츠 벤치마크 데이터 중 472개를 사용하였으며, 472개의 데이터를 종류별로 그룹화 하여 55개의 클래스로 명명하였다. 각 클래스는 식 (1)의 판별 분석 함수식에 의해 클래스의 숫자와 동일한 55개의 색인 값을 만들었다.

$$Z = a + \sum_{n=0}^{N-1} w_n x_n \quad (1)$$

식 (1)에서 Z 는 판별함수, N 은 독립 변수의 개수, a 는 절편, x_n 은 n 번째 독립변수, w_n 는 n 번째 독립변수에 대한 판별계수를 의미하며, 색인 값은 쿼리 모델 검색 시 1차 검색 기준으로, 검색 대상을 축소하여 검색 시간을 단축시키는 중요한 요소이다.

(3) DB저장

데이터베이스 저장은 두 개의 필드로 나누어 저장하였다. 하나의 필드는 3차원 모델의 특징벡터를, 나머지 필드는 색인 필드로 저장 하였다. 색인 필드는 쿼리 검색 시 1차 검색 필드로 중요한 키 값을 갖는다.

2. 3차원 쿼리 모델 검색 과정

(1) 색인 검색

3차원 쿼리 모델에 대한 검색을 위해 특징벡터와 색인 값을 구한 후 1차 검색으로 쿼리의 색인과 저장된 클래스의 색인을 비교하는 과정이다.

즉, 쿼리의 색인과 데이터베이스에 저장된 클래스의 색인을 비교하여 색인의 값이 특정 임계치(상위 2% 이내, 98%이상) 이상의 값을 가진 클래스의 모델만을 추출 하여 특징벡터 검색을 하므로 검색시간이 단축되었음을 알 수 있었다. 임계치를 2%로 제한한 근거는 샘플로 사용한 데이터를 판별분석 함수 적용 시 쿼리 모델이 클래스에 포함될 확률이 98%이상에서 유사 모델의 결과를 얻었으므로 임계치로 사용하였다.

(2) 특징 벡터 검색

각 모델에 대한 특징 벡터는 한 개의 값이 아닌 여러 개의 값들로 표현 되듯, <그림 3>은 03_cow 클래스에 속한 4가지 종류를 D2 방법으로 추출한 0~127까지 128개의 특징벡터를 갖는 분포도이다. 클래스 내의 각 모델은 128개의 값을 갖는 특징벡터로 데이터베이스에 저장되어 2차 검색 처리에 사용되는 변수이다.

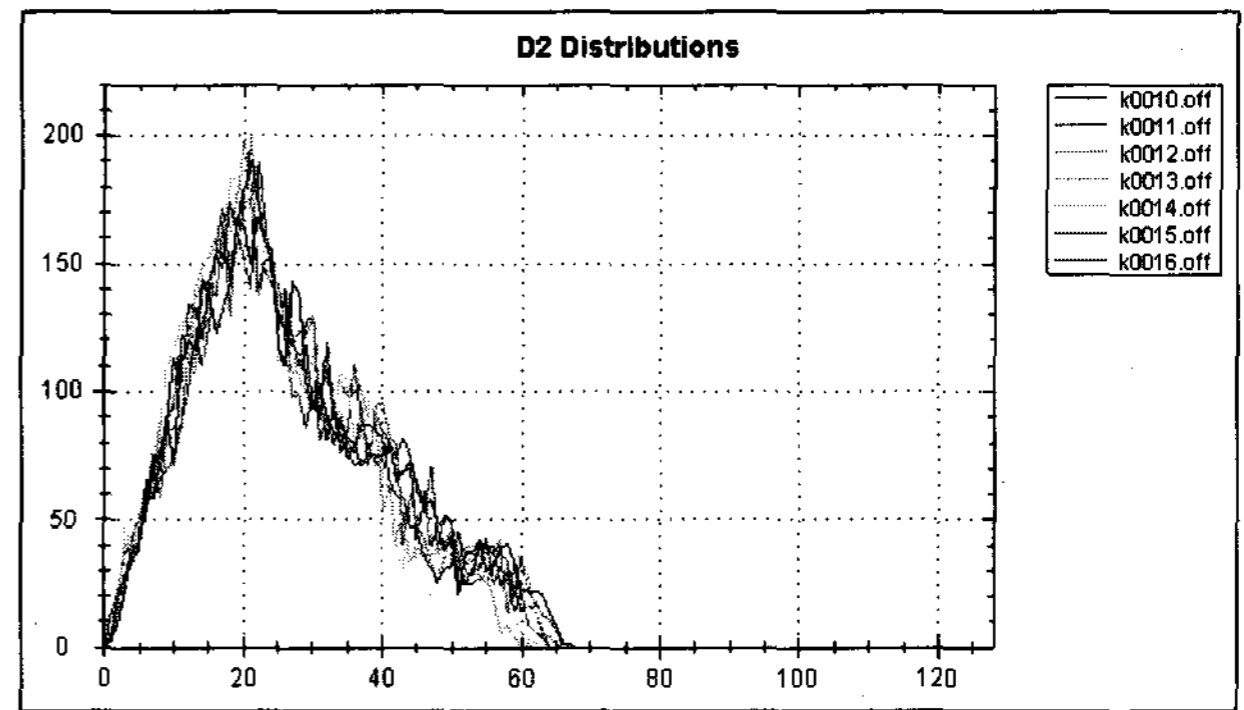


그림 3. 03_cow의 D2 분포도

Fig. 3 D2 distributions of 03_cow.

1차색인 검색 후 추출된 클래스의 모든 모델의 128개의 특징벡터와 쿼리의 128개 특징 벡터를 식 (2)에 의해 가장 적은 값을 갖는 모델을 유사한 검색 모델 결과로 처리하였다.

$$M = \sum_{n=0}^{N-1} (FV_n - fv_n)^2 \quad (2)$$

식 (2)는 특징벡터 검색을 위한 평가 식으로 M 은 평가 측정값, FV_n 은 검색하는 쿼리 모델의 특징벡터, fv_n 은 데이터베이스에 저장된 임의의 레코드의 특징벡터, N 은 특징벡터의 크기를 의미한다.

만약, 제안한 방법을 사용하지 않고 쿼리 모델 검색을 식 (2)에 의해서만 검색한다면 검색 시간이 많이 소요되는 단점이 있다. 즉, 한 개의 쿼리와 데이터베이스에 저장된 모든 모델을 식 (2)에 의해 가장 작은 값을 찾아야하기 때문에 검색 시간이 많이 소요되어 비효율적이다. 식 (1)을 변경하지 않고 검색 시간을 줄이기 위한 방법으로는 특징벡터 값의 개수를 줄이는 푸리에 변환(Fourier transform) 방법도 있다. 그러나 본 논문에서 제안한 방법보다는 검색 시간과 성능이 덜 효율적이다.

III. 구현 및 평가

본 논문은 1GB의 메모리와 3.2GHz의 Pentium 4 CPU를 가진 개인용 컴퓨터에서 Microsoft사의 Visual C#.Net 2003으로 알고리즘을 구현하였다. 검색을 위한 특징벡터를 저장하기 위해서는 Microsoft SQL Server 2000을 사용하였으며, 검색에 사용된 데이터는 콘스탄츠 대학의 벤치마크 데이터^[10]를 이용하였다. 검색 데이터는 472개를 종류별로 55개의 클래스로 나누어 처리하였다.

표 1. 472개의 3차원 모델
Table 1. 472 3D models.

클래스	개수	클래스	개수	클래스	개수
01_ant	6	20_plane	26	39_knife	3
02_bunny	4	21_plane	10	40_screw	3
03_cow	7	22_plane	4	41_spoon	3
04_dog	4	23_zeppelin	6	42_table	6
05_fish	13	24_bike	5	43_head	3
06_bee	5	25_car	6	44_head	8
07_chips	4	26_car	23	45_head	4
08_keyboards	8	27_formula	9	46_book	4
09_cans	4	28_galeons	4	47_clock	2
10_bottles	14	29_submarine	5	48_clock	4
11_bowl	4	30_warship	5	49_sword	25
12_bucket	4	31_bed	7	50_barrel	3
13_cup1	8	32_chair	24	51_birch	4
14_cup2	9	33_chair	6	52_planted_flowers	9
15_teapot	4	34_chair	4	53_trees	11
16_biplane	5	35_couch	3	54_weed	9
17_helicopter	9	36_couch	11	55_human	56
18_missile	16	37_axe	4		
19_plane	18	38_glasses	7		

55개의 클래스 내에 있는 472개의 3차원 모델을 Osada가 제안한 D2방법을 이용하여 128개의 특징 벡터를 구한다. 128개의 특징 벡터를 대표할 수 있는 통계 값인 범위, 최소값, 평균, 표준편차, 왜도, 척도를 사용하여 식 (1)에 의해 판별 함수 값을 색인 값으로 추출하였다. 즉 55개의 클래스에 속하는 472개의 모델에 대해 6개의 값(범위, 최소값, 평균, 표준편차, 왜도, 척도)을 종속변수로 하는 판별 함수 55개를 생성하였다. 472개의 모델 각각에 대해서 D2에 의해 추출된 모델의 특징 벡터(128개)와 55개의 클래스의 판별 함수에 의해 생성된 값들(55개)을 데이터베이스에 저장하여 사용한다. 우리는 판별함수에 의해 생성된 값을 이용하여 1차 검색을 하고, D2에 의해 추출된 값을 이용하여 2차 검색을 한다.

다음은 3_cow 클래스에 속하는 k0013.off 모델을 쿼리 모델로 검색하는 과정을 설명한다. 전체 472개의 모델에 대한 특징 벡터와 판별 함수 값은 전처리 단계에서 구하여 저장한 상태에서 검색은 수행된다. 쿼리로 선택된 모델(k0013.off)에 대해 D2에 대한 특징벡터와 식 (1)을 통한 판별 함수 값을 구한다. 데이터베이스에서 쿼리 모델의 색인과 저장된 55개의 클래스에 해당하는 색인(판별 함수 값)을 비교하여 해당 값이 98%(2% 이내)이상의 클래스를 추출하여 추출된 클래스 내에 있는 모델들만 특징 벡터로 검색하였다. 즉, <그림 4>는

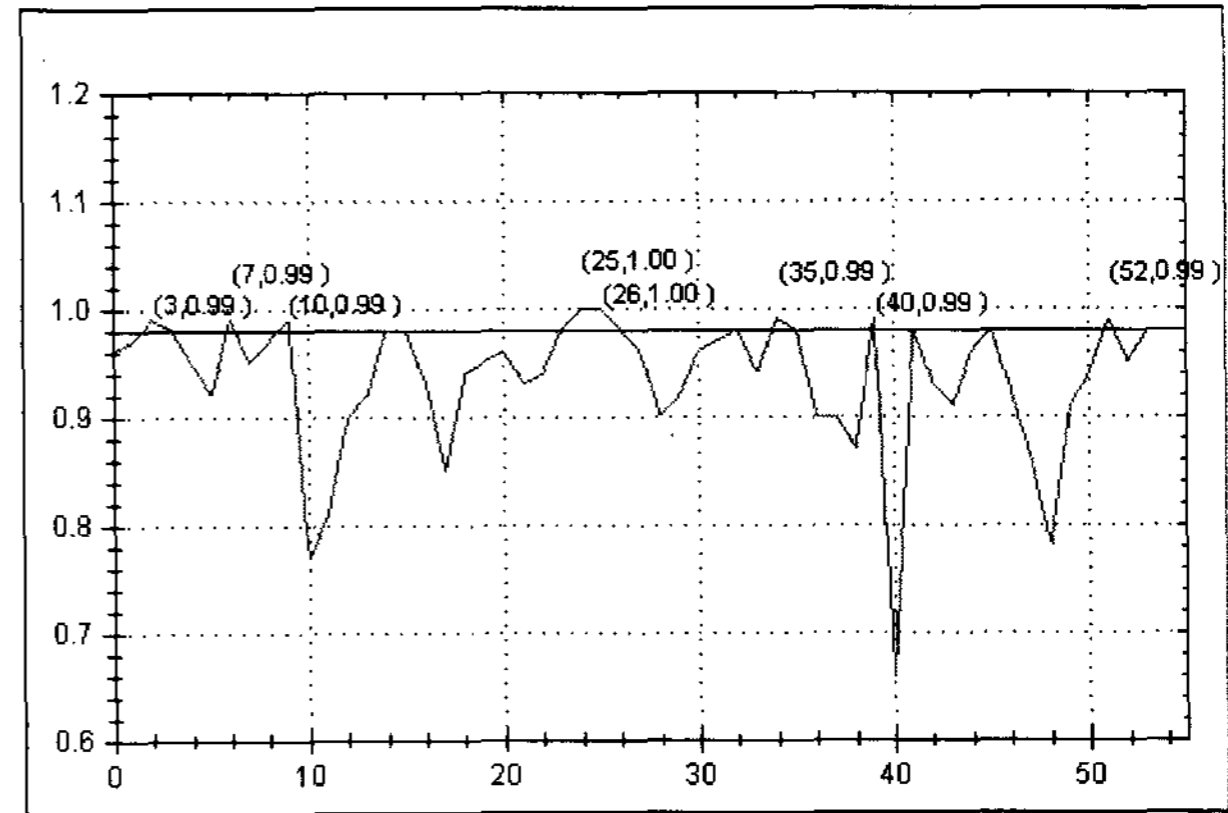


그림 4. 쿼리 모델에 대한 판별 분석 값
Fig. 4. Discriminant analytic value of query model.

표 2. 55개의 클래스 중 일부에 대한 평균 검색시간
Table 2. Average retrieval time of 55 classes.

클래스	Osada	제안	효율
01_ant	0.076	0.066	87%
02_bunny	0.074	0.033	44%
...
53_trees	0.094	0.037	39%
54_weed	0.094	0.054	58%
55_human	0.097	0.071	73%
평균	0.087	0.050	57%

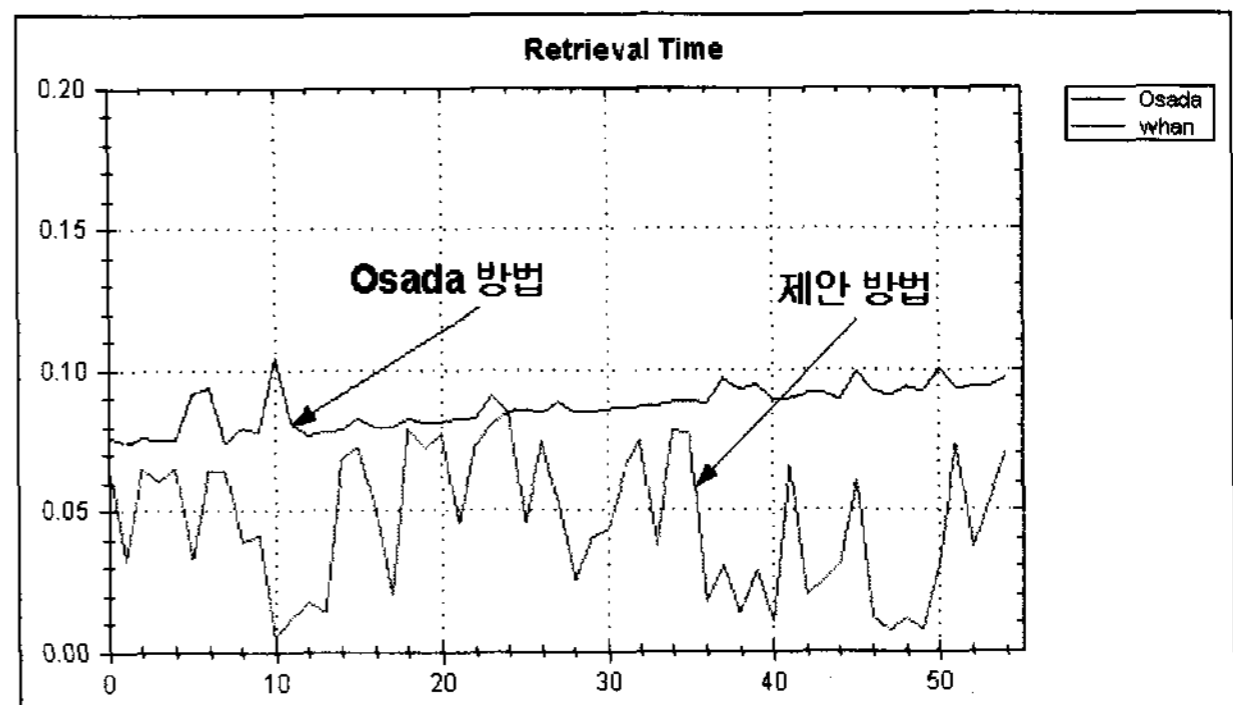


그림 5. 55개 클래스에 대한 평균 검색시간
Fig. 5. Average retrieval time of 55 classes.

쿼리 모델에 대한 판별 분석도로서 쿼리 모델의 색인 값이 0.98(98%)이상인 클래스는 3, 7, 10, 25, 26, 35, 40, 52번 클래스로 총 8개의 클래스가 추출 되었다. 즉 쿼리 모델이 위 8개(3, 7, 10, 25, 26, 35, 40, 52번)의 클래스에 속할 확률이 98%이상인 것이다.

1차 색인 검색 후 98%이상인 클래스에 있는 모델들을 특징 벡터로 검색하기 위해 식 (2)를 적용하였다. 이 과정은 2차 검색으로 쿼리 모델과 비교해야 하는 모델은 8개의 클래스에 있는 69개(7+4+14+6+23+3+3+9)의 모델만 특징 벡터 검색을 하여 유사 모델을 검색한다. 이는 쿼리 모델과 데이터베이스에 저장된 69개의 모델만을 비교하므로 472개의 모델과 비교하는 방법보다 검

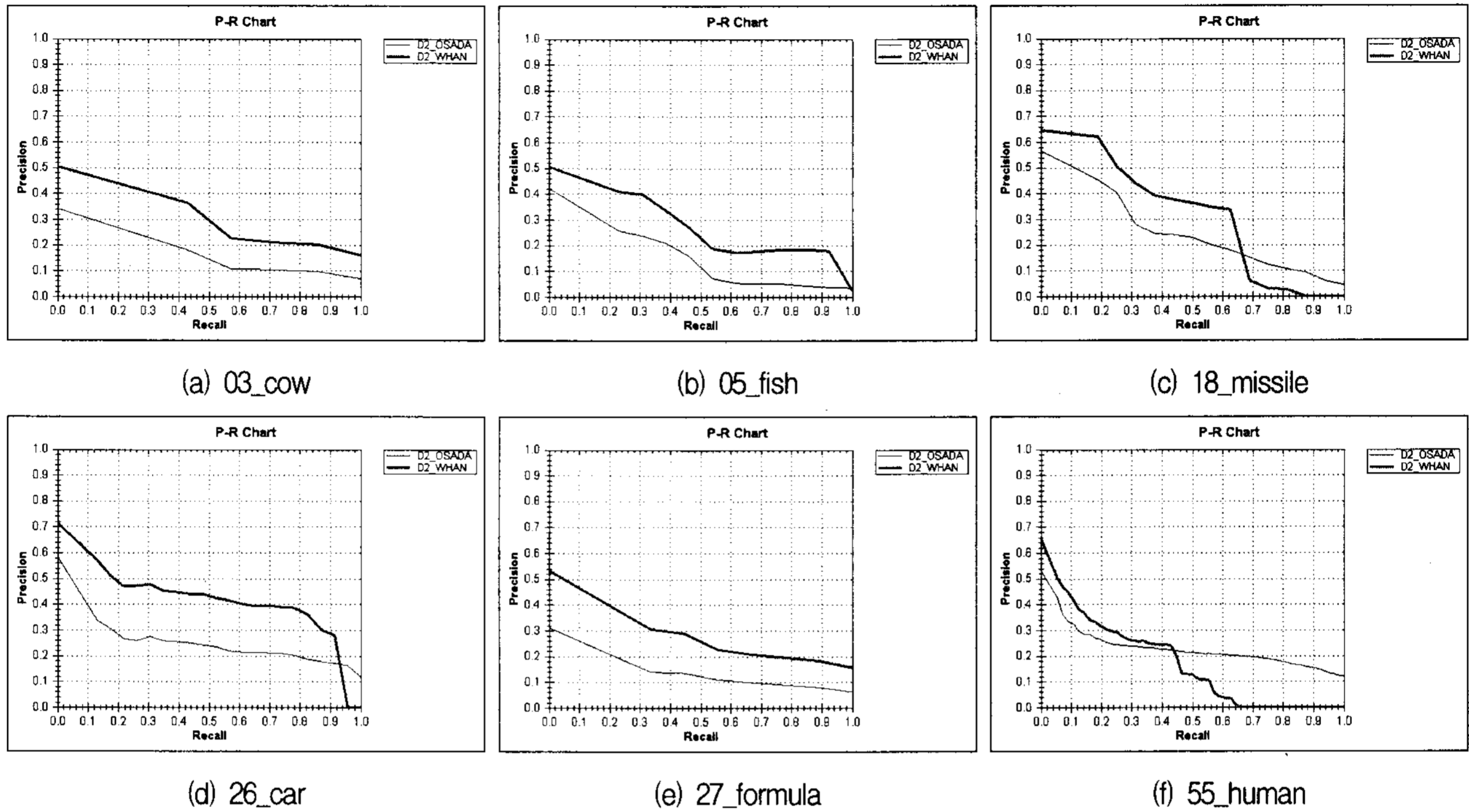


그림 6. P-R Charts(가는 선 : Osada 방법, 진한 선 : 제안 방법)
 Fig. 6. P-R Charts(thin line : Osada's method, thick line : proposed method).

색 시간이 매우 단축되었음을 알 수 있었다.

또한 제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 Osada의 검색 방법과 본 논문에서 제안한 방법을 비교하였다. P-R 차트(precision-recall chart; 정확도-재현율 차트)를 사용하여 검색 시간과 검색률에 대한 성능을 평가하였다. 472개의 3차원 모델과 몇 개의 쿼리 모델을 검색할 때, 처리 시간에 대한 평가 결과는 <표 2>에 기술하였으며, <그림 5>는 <표 2>의 이해를 돕기 위해 차트로 표현하였고, <그림 6>은 처리 결과에 대한 P-R 차트이다. <표 2>와 <그림 5>는 처리시간이 57%로 단축되었음을 보여준다. <그림 6>은 본 논문이 제안한 방법이 Osada의 방법에 비교해서 전체적으로 재현율 대비 정확도가 높게 나타남을 보여준다.

IV. 결 론

본 논문은 3차원 모델을 검색함에 있어 정확도를 높이면서도 검색 시간을 단축시키는 검색 방법을 제안하였다. 제안 방법은 특징 벡터의 범위, 최소값, 평균, 표준편차, 왜도, 척도를 변수로 한 통계처리 기법인 판별 분석 함수 값을 색인으로 이용하는 방법으로, 1차 검색에 의해 검색 대상을 축소시켜 검색시간을 단축시키면서도 정확도 또한 높게 나타난다.

처리과정으로는 첫째, 전처리 과정으로 각 모델을 동종의 클래스로 분류한 후 모델을 Osada의 D2방법에 의해 128개의 특징벡터를 추출하고, 추출된 특징벡터를 통계 처리하여 색인 값을 구하여 데이터베이스에 저장하였다. 둘째, 검색과정으로 3차원 쿼리 모델 검색 시 쿼리의 색인 값을 저장된 클래스의 색인 값과 비교하여 98%이상의 값을 가진 클래스를 추출하여 추출된 클래스 내에 있는 모델의 특징 벡터 비교를 하여 유사 모델을 검색하는 과정으로 빠른 시간 내에 검색 결과를 얻을 수 있었다.

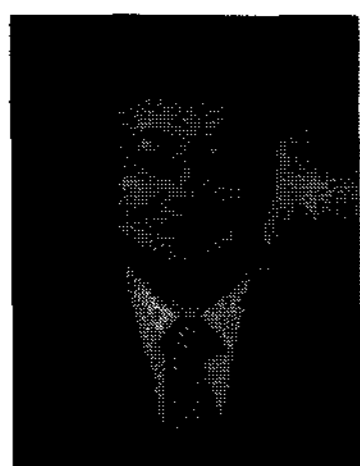
결론적으로 본 논문은 Osada의 방법과 비교하여 3차원 모델 검색 시간을 57%로 단축시켰으며, 성능 면에서도 <그림 6>의 P-R차트와 같이 우수함을 알 수 있었다. 쿼리 모델 검색 시 유사모델이 처음 발견되는 정확도(precision)는 기존 알고리즘은 평균 0.250이고, 제안한 알고리즘은 0.362로 44.8%의 효율이 있음을 알 수 있었다. 향후에는 6개의 종속변수 외에 검색 효율을 향상시킬 수 있는 새로운 변수를 찾는 연구를 할 계획이다.

참 고 문 헌

[1] 이기호, 김낙우, 김태용, 최중수, "기하학 정보를

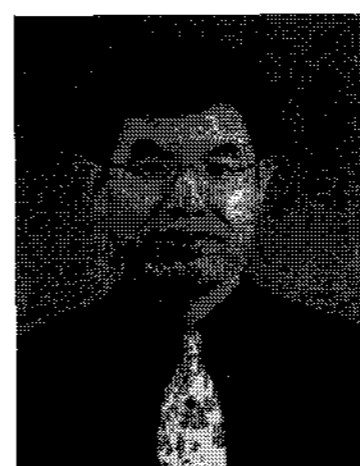
- 이용한 3차원 모델 검색,” 한국통신학회논문지, 제 30권, 제 10C호, 1007-1016쪽, 2005년
- [2] 이선임, 황혜정, 문영식, “레이 캐스팅 기법을 기반으로 한 3차원 모델 검색,” 한국컴퓨터종합학술대회논문집, 제 32권, 제 1B호, 844-846쪽, 2005년
- [3] 조순복, “3차원 모델들의 형상 : 유사검색 알고리즘에 관한 연구,” 만화애니메이션연구논문지, 제 8권, 179-191쪽, 2004년
- [4] S. Biasotti, S. Marini, M. Mortara, and G. Patan'e, “An Overview of Properties and Efficacy of Topological Skeletons in Shape Modeling,” International Conference on Shape Modeling and Application, pp.245-256, 2003.
- [5] D. Chen, X. Tian, Y. Shen, and M. Ouhyoung, “On Visual Similarity Based 3D Model Retrieval,” Computer Graphics Forum, pp.223-232, 2003.
- [6] 송주환, 최성희, 권오봉, “반사 대칭을 이용한 3차원 오브젝트 검색에 관한 연구,” 대한전자공학회논문지, 제 44권, 제 4호, 48-54쪽, 2007년
- [7] J. Song and F. Golshani, “3D Object Feature Extraction Based on Shape Similarity,” International Journal on Artificial Intelligence Tools, Vol. 12, pp.37-56, 2003.
- [8] 박기태, 황혜정, 문영식, “형태 인덱스와 정규 곡률을 이용한 3차원 모델 검색,” 대한전자공학회논문지, 제 44권, 제 2호, 33-41쪽, 2007년
- [9] J. Song and F. Golshani, “3D Object Retrieval by Shape Similarity,” Lecture Note in Computer Science, Vol. 2453, pp.851-860, 2002.
- [10] D. V. Vranic, “3D Model Retrieval,” Ph. D. Thesis, University of Leipzig, 2004.
- [11] R. Osada, T. Funkhouser, B. Chazelle, and D. Dobkin, “Shape Distributions,” Transaction on ACM Graphics, Vol. 21, No. 4, pp.807-832, 2002.
- [12] 장원경, 김태균, “한글 SPSS 12.0을 이용한 자료분석의 이해와 응용,” 대경, 2005년

저 자 소 개



송 주 환(정회원)
1995년 전주대학교 전자계산학과 학사 졸업.
1997년 전북대학교 전산통계학과 석사 졸업,
2003년 전북대학교 전산통계학과 박사 졸업,

2001년~현재 전주대학교 교양학부 교수
<주관심분야 : 3D컴퓨터그래픽스, 멀티미디어, 멀티미디어 검색>



권 오 봉(정회원)
1980년 고려대학교 전기공학과 학사 졸업
1983년 고려대학교 전기공학과 석사 졸업
1993년 일본구주대학교 총합이공학연구과 박사 졸업

1992년~1993년 일본구주대학교 정보공학과 조수
1993년~현재 전북대학교 전자정보공학부 교수
<주관심분야 : 컴퓨터그래픽스, 사이언티픽 비주얼라이제이션>



최 성 희(정회원)
1982년 전북대학교 통계학과 학사 졸업.
1984년 중앙대학교 전자계산학과 석사 졸업,
2005년 전북대학교 전산통계학과 박사 졸업

1989년~현재 전주비전대학 유아교육과 교수
<주관심분야 : 컴퓨터그래픽스, 멀티미디어, 멀티미디어 검색>